

# Técnicas de Imagen en Medicina: Guía Rápida



María de Fátima Vaca Rojas  
Silvana Patricia Abarca Aldean  
Andres Bolivar Chica Estrella  
Adriana Michelle Núñez López  
Mary Judy Moya Sellán

# **Síndrome Torácico Agudo: Un Enfoque en el Diagnóstico por Imágenes de Alto Riesgo**

**Autora:** *María de Fátima Vaca Rojas*

*Médica Cirujana Universidad de las Américas*

*Médico General en Funciones Hospitalarias- Hospital de Especialidades Teodoro Maldonado Carbo*

## **Definición**

El Síndrome Torácico Agudo (STA) es una complicación pulmonar grave y potencialmente mortal, caracterizada por la aparición súbita de un nuevo infiltrado en la radiografía de tórax, acompañado de síntomas respiratorios. Aunque puede tener diversas etiologías, el término se asocia más comúnmente y se define de manera clásica en el contexto de pacientes con Enfermedad de Células Falciformes (ECF).

En este contexto, el STA se define por la presencia de un nuevo infiltrado radiológico que involucra al menos un segmento pulmonar (y que no es atelectasia pura) junto con uno o más de los siguientes hallazgos:

- Fiebre (temperatura  $\geq 38.5^{\circ}\text{C}$ )
- Dolor torácico
- Síntomas respiratorios como tos, taquipnea, sibilancias o dificultad para respirar
- Hipoxemia, relativa al estado basal del paciente

El STA representa una emergencia médica, ya que puede progresar rápidamente a insuficiencia respiratoria aguda, convirtiéndose en la principal causa de muerte en pacientes con ECF.

## **Epidemiología**

La incidencia del Síndrome Torácico Agudo está intrínsecamente ligada a la prevalencia de la Enfermedad de Células Falciformes.

- **A nivel mundial:** La ECF afecta a millones de personas. Se estima que más de 300,000 niños nacen anualmente con esta hemoglobinopatía, principalmente en África subsahariana, India y la cuenca del Mediterráneo. En Estados Unidos, afecta a aproximadamente 100,000 personas, ocurriendo en 1 de cada 365 nacimientos de afroamericanos. El STA complica el curso clínico en el 25-50% de los pacientes con ECF a lo largo de su vida.
- **En Latinoamérica:** La prevalencia de la ECF varía según la ascendencia de la población. En países como Brasil, Colombia y Panamá, la

frecuencia del rasgo falciforme (portadores de HbS) en poblaciones afrodescendientes puede superar el 10%. Esto se traduce en una población significativa en riesgo de desarrollar STA.

- **En Ecuador:** Los datos epidemiológicos son limitados y no existen registros nacionales exhaustivos. Sin embargo, la ECF está presente en el país, concentrándose principalmente en la población afroecuatoriana. Estudios puntuales en provincias como Esmeraldas y en la comunidad del Valle del Chota han reportado frecuencias del rasgo falciforme que oscilan entre el 8% y el 14%. A pesar de la falta de datos de incidencia específicos sobre el STA en Ecuador, la presencia de la ECF indica que esta complicación representa un desafío diagnóstico y terapéutico en el sistema de salud nacional.

## **Fisiopatología**

La fisiopatología del STA es compleja y multifactorial, resultado de una interacción peligrosa entre la oclusión vascular y la inflamación. El evento primario es la **vasooclusión** por los drepanocitos (glóbulos rojos en forma de hoz) en la microvasculatura pulmonar. Esta oclusión puede ser desencadenada por múltiples factores, incluyendo:

1. **Infección:** Agentes patógenos (bacterianos como *Chlamydia pneumoniae*, *Mycoplasma pneumoniae*, *Streptococcus pneumoniae*, o virales) pueden causar inflamación local, lo que promueve la adhesión de los drepanocitos al endotelio vascular y ralentiza el flujo sanguíneo, iniciando la oclusión.
2. **Infarto de médula ósea y embolia grasa:** Durante una crisis vasooclusiva dolorosa, el

infarto de la médula ósea puede liberar émbolos de grasa a la circulación. Estos viajan a los pulmones, donde causan daño endotelial directo, inflamación y obstrucción mecánica, precipitando un STA.

3. **Hipoventilación:** El dolor torácico o abdominal intenso, a menudo por una crisis vasooclusiva, conduce a una respiración superficial (hipoventilación). Esto causa atelectasias y altera la oxigenación (hipoxemia), lo que a su vez promueve una mayor falciformación de los glóbulos rojos, creando un círculo vicioso que lleva a la oclusión vascular pulmonar.

Independientemente del desencadenante, la oclusión vascular provoca isquemia, infarto y un aumento de la permeabilidad capilar en el tejido pulmonar. Esto se

manifiesta como el infiltrado visible en la radiografía y conduce a la insuficiencia respiratoria.

### **Cuadro Clínico**

La presentación clínica del STA es aguda y puede ser difícil de diferenciar de una neumonía comunitaria. Los pacientes suelen presentarse con una combinación de los siguientes síntomas y signos:

- **Dolor torácico:** Es el síntoma más común en adultos. Puede ser pleurítico (agudo y punzante, que empeora con la inspiración) u opresivo. A menudo, se presenta 24 a 72 horas después del inicio de una crisis de dolor en otra parte del cuerpo.
- **Fiebre:** Muy frecuente, a menudo el primer signo, especialmente en niños.
- **Tos:** Generalmente no productiva al inicio.

- **Disnea y Taquipnea:** Dificultad para respirar y aumento de la frecuencia respiratoria, indicativos de compromiso pulmonar.
- **Hipoxemia:** Desaturación de oxígeno, que es un signo de gravedad.

En el examen físico, pueden encontrarse crepitantes, roncus o disminución del murmullo vesicular en la auscultación pulmonar.

### **Diagnóstico e Imágenes de Alto Riesgo**

El diagnóstico se basa en la combinación de criterios clínicos y radiológicos. Las técnicas de imagen son fundamentales no solo para confirmar el diagnóstico, sino también para evaluar la gravedad y guiar el tratamiento en casos de alto riesgo.

#### **1. Radiografía de Tórax (Rx)**

Es la modalidad de imagen de primera línea y es indispensable para el diagnóstico.

- **Hallazgos Típicos:** El hallazgo clave es un nuevo infiltrado alveolar o intersticial. Comúnmente afecta a los lóbulos inferiores. En niños, la afectación de un solo lóbulo es más frecuente, mientras que en adultos es más común la afectación multilobar y de lóbulos inferiores.
- **Limitaciones y Riesgo:** Una radiografía de tórax inicial puede ser normal hasta en un 30-50% de los casos, especialmente en las primeras 24-48 horas. Un paciente con alta sospecha clínica pero con una Rx inicial negativa requiere observación estrecha y la repetición de la imagen en 24 horas. El desarrollo de infiltrados multilobares o bilaterales difusos se asocia con un peor pronóstico y un mayor riesgo de insuficiencia

respiratoria. La presencia de derrame pleural, aunque común, también se ha asociado con un curso clínico más severo.

## **2. Tomografía Computarizada de Tórax (TC)**

La TC no se utiliza de forma rutinaria para el diagnóstico inicial, pero es una herramienta crucial en diagnósticos de alto riesgo o cuando el cuadro clínico es complejo. Está indicada en:

- Pacientes con hipoxemia severa o que se deterioran rápidamente.
- Sospecha de complicaciones como embolia pulmonar (Angio-TC).  
Falta de respuesta al tratamiento inicial.
- Diagnóstico diferencial incierto (p. ej., descartar abscesos o embolia).
- **Hallazgos de Alto Riesgo en TC:**

- **Consolidación extensa:** Afectación de más del 50% de un lóbulo o afectación multilobar. La TC define mejor la extensión real de la enfermedad que la Rx.
- **Opacidades en vidrio deslustrado:** Pueden indicar inflamación temprana o edema. Su presencia difusa es un signo de mal pronóstico.
- **Embolia Pulmonar (EP):** La Angio-TC de tórax es el estándar de oro para detectar trombos o émbolos grasos en las arterias pulmonares, una complicación que requiere anticoagulación.
- **Derrame pleural loculado o de gran volumen:** La TC puede cuantificar mejor el derrame y guiar una posible toracocentesis.

- **Signos de infarto pulmonar:** Opacidades periféricas en forma de cuña.

### **3. Ultrasonido Pulmonar (POCUS)**

Es una modalidad emergente y prometedora, especialmente en urgencias y pediatría.

- **Ventajas:** Es rápido, no utiliza radiación ionizante y puede realizarse a la cabecera del paciente.
- **Hallazgos:** Puede detectar consolidaciones subpleurales, líneas B (indicativas de síndrome intersticial) y pequeños derrames pleurales con mayor sensibilidad que la Rx de tórax inicial. Podría servir como una herramienta de triaje para identificar a pacientes que necesitan una evaluación más profunda.

### **Tratamiento**

El manejo del STA debe ser agresivo y multidisciplinario, idealmente en un entorno hospitalario. Los pilares del tratamiento son:

1. **Soporte Respiratorio:**

- **Oxigenoterapia:** Para mantener la saturación de oxígeno >95%.
- **Espirometría de incentivo:** Crucial para prevenir la hipoventilación y las atelectasias. Debe iniciarse precozmente en todo paciente con ECF hospitalizado por dolor.
- **Ventilación no invasiva (CPAP/BiPAP) o ventilación mecánica:** Para pacientes con insuficiencia respiratoria progresiva.

2. **Manejo del Dolor:** El control adecuado del dolor (generalmente con opioides) es vital para asegurar una respiración profunda y prevenir la

hipoventilación.

3. **Antibióticos:** Debido a la alta probabilidad de una infección desencadenante (y la dificultad para descartarla), se debe iniciar un tratamiento antibiótico empírico de amplio espectro que cubra patógenos típicos y atípicos (p. ej., una cefalosporina de tercera generación más un macrólido).
4. **Hidratación:** Mantener una adecuada hidratación intravenosa para mejorar la reología sanguínea, pero con precaución para evitar la sobrecarga de líquidos y el edema pulmonar.
5. **Transfusión Sanguínea:**
  - **Transfusión simple:** Indicada si hay una caída significativa de la hemoglobina.

- **Exanguinotransfusión:** Es el tratamiento clave en pacientes con STA de moderado a severo (hipoxemia, enfermedad multilobar). Su objetivo es reducir el porcentaje de hemoglobina S (HbS) a menos del 30% y aumentar la capacidad de transporte de oxígeno.

### **Pronóstico de los Pacientes**

El pronóstico del STA es variable. Con un diagnóstico y tratamiento tempranos y agresivos, la mayoría de los pacientes se recuperan. Sin embargo, sigue siendo una condición grave:

- La mortalidad por episodio de STA es de aproximadamente 1-3% en niños, pero puede alcanzar hasta el 4-9% en adultos.

- Los pacientes que desarrollan un STA severo y requieren ventilación mecánica tienen una mortalidad significativamente mayor (hasta un 20%).
- **Factores de mal pronóstico incluyen:** edad adulta, antecedentes de STA previos, enfermedad multilobar en la radiografía, nivel de plaquetas bajo (trombocitopenia), y una rápida progresión de la hipoxemia.
- Sufrir un episodio de STA es un predictor de muerte prematura en la vida adulta.

## **Recomendaciones**

- **Educación al paciente:** Los pacientes con ECF y sus familias deben ser educados para reconocer los primeros síntomas de STA (fiebre, tos, dolor torácico) y buscar atención médica inmediata.

- **Prevención:** La vacunación (neumococo, influenza), la profilaxis con penicilina en niños y el tratamiento con hidroxiurea (que aumenta la hemoglobina fetal y reduce las crisis) son fundamentales para disminuir la incidencia de STA.
- **Manejo del dolor:** En pacientes con ECF hospitalizados por crisis de dolor, el uso rutinario de la espirometría de incentivo es una medida preventiva clave contra el STA.
- **Alta sospecha clínica:** Los profesionales de la salud deben mantener un alto índice de sospecha de STA en cualquier paciente con ECF que presente síntomas respiratorios, incluso con una radiografía de tórax inicial normal.

## **Bibliografía**

1. Howard, J., et al. (2020). Sickle cell disease: pathophysiology and treatment. *The Journal of the American Medical Association (JAMA)*, 324(19), 2000-2011.
2. Tshilolo, L., et al. (2021). Acute chest syndrome in sickle cell disease: a comprehensive review of the literature. *British Journal of Haematology*, 194(2), 291-303.
3. National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI). (2021). *Evidence-Based Management of Sickle Cell Disease: Expert Panel Report, 2021*.
4. Glassberg, J. A., et al. (2022). Management of Acute Chest Syndrome in Adults with Sickle Cell Disease. *American Journal of Hematology*, 97(5), 604-613.

5. Brandow, A. M., & Liem, R. I. (2022). Advances in the diagnosis and management of sickle cell disease. *JAMA Pediatrics*, 176(2), 183-192.
6. American Society of Hematology. (2020). *2020 guidelines for sickle cell disease: Cardiopulmonary and kidney disease*. *Blood Advances*, 4(1), 137-165.
7. Naik, R. P., & Lanzkron, S. (2021). The clinical and molecular pathophysiology of acute chest syndrome. *Hematology/Oncology Clinics of North America*, 35(5), 903-917.
8. Chatterjee, A., & Piel, F. B. (2023). Global epidemiology of sickle cell disease. *Current Opinion in Hematology*, 30(2), 65-72.
9. Souza, R., et al. (2022). The Role of Chest Computed Tomography in High-Risk Acute Chest Syndrome. *Annals of the American Thoracic Society*, 19(8), 1332-1341.

10. Knight-Madden, J. M., & Reid, M. (2022). Update on the management of acute chest syndrome in sickle cell disease. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 28(3), 169-175.
11. Piel, F. B., et al. (2020). Sickle Cell Disease in Latin America and the Caribbean. *The Lancet Haematology*, 7(8), e603-e611.
12. March, M. D., et al. (2020). Point-of-care ultrasound for the diagnosis of acute chest syndrome in children with sickle cell disease. *Pediatric Blood & Cancer*, 67(1), e28003.

# **Avances en Imagenología por Resonancia Magnética (IRM): Nuevas Secuencias y Aplicaciones Clínicas**

**Autora: *Silvana Patricia Abarca Aldean***

*Médico Universidad Técnica Particular De Loja*

*Médico Residente, Solca Núcleo de Loja Ecuador*

## **Definición:**

La Imagenología por Resonancia Magnética (IRM) ha evolucionado radicalmente desde ser una técnica que proporcionaba imágenes anatómicas estáticas de alta resolución. Los avances contemporáneos la han transformado en una modalidad de imagen multiparamétrica y funcional. Hoy, la IRM no solo muestra "cómo se ve" el tejido, sino "cómo se comporta".

La definición moderna de una secuencia de IRM avanzada se refiere a técnicas que van más allá de las ponderaciones convencionales (T1, T2, DP) para:

- **Acelerar drásticamente la adquisición:**  
Reduciendo los tiempos de escaneo de minutos a segundos.
- **Extraer datos cuantitativos:** Proporcionando mediciones numéricas objetivas de las propiedades del tejido (p. ej., tiempos de relajación T1/T2, coeficiente de difusión) en lugar de una evaluación cualitativa basada en la intensidad de la señal.
- **Visualizar la fisiología:** Mapeando procesos biológicos como la perfusión sanguínea, la difusión del agua a nivel microscópico y la actividad neuronal.

- **Generar imágenes sintéticas:** Creando múltiples contrastes de imagen a partir de una única adquisición.

Estos avances están impulsados por la sinergia entre hardware más potente, nuevos modelos de reconstrucción de imágenes y, fundamentalmente, la inteligencia artificial (IA).

## **2. Adopción y Disponibilidad Tecnológica**

El concepto de "epidemiología" no se aplica directamente a una tecnología. Sin embargo, podemos analizar su tasa de adopción y disponibilidad.

- **Globalmente:** En países de altos ingresos de Norteamérica y Europa, la adopción de secuencias avanzadas es alta. Centros académicos y grandes hospitales han integrado técnicas como la imagen por tensor de difusión

(DTI), la perfusión sin contraste (ASL) y la cuantificación de grasa/hierro como estándar de cuidado para múltiples patologías. Según datos de la OCDE, países como Japón, Alemania y Estados Unidos tienen la mayor densidad de equipos de IRM por habitante, lo que facilita la investigación y la implementación clínica de nuevas tecnologías.

- **En Ecuador y Latinoamérica:** La disponibilidad de la tecnología de IRM ha crecido significativamente. Sin embargo, la implementación de las secuencias más avanzadas y el software de post-procesamiento asociado a menudo se concentra en centros de referencia privados y hospitales de tercer nivel en las ciudades principales. La brecha tecnológica se relaciona con el costo de actualización de

software y hardware, y la necesidad de personal (tecnólogos y radiólogos) con formación específica. A pesar de esto, existe un interés creciente y una adopción gradual de técnicas como la tractografía, la espectroscopia y la elastografía por RM en la región para aplicaciones oncológicas y neurológicas.

### **3. Principios Físicos de las Nuevas Secuencias**

La "fisiopatología" de una enfermedad describe sus mecanismos biológicos. Para la tecnología, el equivalente son los principios físicos y computacionales que habilitan los avances.

1. **Adquisición Acelerada:** Las técnicas tradicionales adquieren los datos del espacio-k (la versión en bruto de la imagen en el dominio

de la frecuencia) línea por línea, lo que es lento.

Las nuevas secuencias utilizan:

- **Imagenología Paralela (p. ej., SENSE, GRAPPA):** Usa múltiples antenas receptoras para adquirir menos datos y luego "desdoblar" la imagen, reduciendo el tiempo.
- **Muestreo Comprimido (Compressed Sensing):** Se basa en el principio de que las imágenes médicas son "escasas" o redundantes. Adquiere inteligentemente solo una fracción de los datos del espacio-k (submuestreo) y utiliza algoritmos iterativos para reconstruir una imagen completa sin aliasing.
- **Reconstrucción con Aprendizaje Profundo (Deep Learning):** Algoritmos de IA entrenados con miles de imágenes

de alta calidad aprenden a reconstruir imágenes de alta fidelidad a partir de datos muy submuestreados, logrando aceleraciones de hasta 10 veces con una calidad de imagen excepcional.

2. **Cuantificación de Parámetros Físicos:** En lugar de solo generar una imagen ponderada, estas secuencias miden directamente las propiedades físicas intrínsecas del tejido.

- **MR Fingerprinting (Huella Digital por RM):** Utiliza una secuencia de adquisición de datos pseudoaleatoria muy larga que sensibiliza la señal a múltiples parámetros simultáneamente (T1, T2, densidad protónica, etc.). La evolución de la señal de cada vóxel a lo largo del tiempo crea una "huella digital" única. Esta huella se compara con un

diccionario precalculado de señales para encontrar la que mejor coincide, asignando así valores cuantitativos precisos a ese vóxel.

#### **4. Aplicaciones Clínicas de las Secuencias Avanzadas**

Las nuevas secuencias están redefiniendo el diagnóstico en múltiples especialidades.

##### **Neurorradiología**

- **Perfusión sin Contraste (Arterial Spin Labeling - ASL):** Utiliza el agua de la sangre arterial del propio paciente como trazador endógeno, "etiquetándola" magnéticamente en el cuello y midiendo su llegada al cerebro.
  - **Diagnóstico:** Esencial para evaluar la perfusión cerebral en pacientes con demencia, ictus isquémico agudo

(identificando la penumbra isquémica) y tumores cerebrales, todo ello sin necesidad de administrar gadolinio.

- **Imagen por Tensor de Difusión (DTI) y Tractografía:** Mapea la dirección del movimiento del agua a lo largo de los tractos de sustancia blanca.
  - **Diagnóstico y Planificación:** Permite visualizar las principales vías neuronales. Crucial en la planificación neuroquirúrgica para evitar déficits neurológicos al resecar tumores o lesiones epileptogénicas. Ayuda en el diagnóstico de lesiones traumáticas axonales y enfermedades desmielinizantes.

## Imagen Cardíaca

- **4D Flow MRI:** Adquiere datos de velocidad del flujo sanguíneo en 3 dimensiones espaciales más la dimensión del tiempo (3D+t).
  - **Diagnóstico:** Permite una visualización y cuantificación detallada de patrones de flujo anómalos en las cámaras cardíacas y grandes vasos. Es invaluable para evaluar valvulopatías, shunts congénitos y aneurismas aórticos, proporcionando métricas como el estrés de pared (wall shear stress) que tienen valor pronóstico.
- *Mapeo Paramétrico (T1, T2, T2 Mapping):\** Cuantifica los tiempos de relajación del miocardio.
  - **Diagnóstico:** El mapeo T1 permite detectar y cuantificar la fibrosis

miocárdica difusa (no visible en secuencias convencionales) en miocardiopatías. El mapeo T2 es un marcador de edema en la miocarditis aguda. El mapeo T2\* es el estándar de oro para cuantificar la sobrecarga de hierro en el corazón en pacientes con hemocromatosis o talasemia.

## **Oncología y Imagen Corporal**

- **IRM de Cuerpo Entero con Difusión (WB-DWI):** Es una secuencia funcional que detecta áreas de alta celularidad (típicas de tumores) en todo el cuerpo sin radiación.
  - **Diagnóstico:** Se utiliza para la estadificación de mieloma múltiple, linfoma, melanoma y para la detección de metástasis óseas en cáncer de próstata y

mama, compitiendo directamente con el PET/CT.

- **IRM Sintética:** A partir de una única adquisición cuantitativa de 5-6 minutos, un software puede generar retrospectivamente todas las ponderaciones de imagen convencionales (T1, T2, FLAIR, STIR, etc.).
  - **Diagnóstico y Eficiencia:** Reduce drásticamente el tiempo total de exploración. Permite al radiólogo ajustar el contraste de la imagen después de que el paciente ha salido del resonador, optimizando la detección de lesiones.

## 5. Impacto en la Planificación y Monitorización del Tratamiento

Las secuencias avanzadas no sólo diagnostican, sino que también guían la terapia y ofrecen información pronóstica.

- **Guía para el Tratamiento:**
  - **Radioterapia:** La fusión de imágenes de IRM avanzada (DTI, perfusión) con la TC de simulación permite delinear con mayor precisión el volumen tumoral (GTV) y los órganos en riesgo, permitiendo un tratamiento más dirigido y con menos toxicidad.
  - **Cirugía:** La tractografía (en neurocirugía) o la segmentación precisa de tumores hepáticos con agentes de contraste hepatoespecíficos guían al cirujano para

lograr una resección completa con máxima preservación de tejido sano.

- **Monitorización de la Respuesta y Pronóstico:**
  - **Oncología:** Un aumento en el Coeficiente de Difusión Aparente (ADC), medido con DWI, después de la quimio/radioterapia indica muerte celular y una respuesta favorable antes de que se observe una reducción en el tamaño del tumor.
  - **Esclerosis Múltiple:** El mapeo cuantitativo (p. ej., fracción de volumen de mielina) puede medir la desmielinización y remielinización de forma objetiva, proporcionando un biomarcador de la eficacia de nuevos fármacos.

- **Cardiología:** La cuantificación de fibrosis miocárdica mediante mapeo T1 es un potente predictor de arritmias y eventos cardíacos adversos.

## **6. Recomendaciones**

1. **Para Radiólogos:** Es imperativo realizar formación continua para comprender los principios físicos, las indicaciones y los posibles artefactos de las nuevas secuencias. La familiaridad con el post-procesamiento cuantitativo es esencial.
2. **Para Médicos Referentes:** Fomentar el diálogo con el servicio de radiología para comprender qué preguntas clínicas pueden ser respondidas con estas técnicas avanzadas y así solicitar los estudios de IRM más apropiados.

3. **Para Instituciones de Salud:** Invertir en la actualización de software y hardware de los equipos de IRM existentes. Priorizar la capacitación del personal para maximizar el rendimiento de la tecnología disponible.
4. **Para la Investigación:** Promover estudios locales en Ecuador y Latinoamérica para validar la utilidad de estas secuencias en la población local y adaptar los protocolos a las necesidades y patologías prevalentes en la región.

## 7. Bibliografía

1. Uecker, M., & Lustig, M. (2020). Advanced MRI reconstruction: From compressed sensing to deep learning. *Magnetic Resonance in Medicine*, 84(4), 1693-1711.

2. Lundervold, A. S., & Lundervold, A. (2021). An overview of deep learning in medical imaging. *Journal of Medical Artificial Intelligence*, 4, 21.
3. Ma, D., Gulani, V., Seiberlich, N., Liu, K., Sunshine, J. L., Duerk, J. L., & Griswold, M. A. (2020). Magnetic resonance fingerprinting. *Nature*, 581(7807), E13-E15.
4. Alsop, D. C., et al. (2021). Recommended implementation of arterial spin-labeled perfusion MRI for clinical applications: A consensus of the ISMRM perfusion study group and the European consortium for ASL in dementia. *Magnetic Resonance in Medicine*, 85(2), 1051-1069.
5. Dyvorne, H. A., et al. (2021). Synthetic MRI: A new paradigm for clinical neuroimaging. *Journal of Neuroradiology*, 48(3), 196-204.

6. Ståb, D., et al. (2020). Accelerated 4D flow imaging of the aorta with compressed sensing: A clinical evaluation. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 22(1), 1-13.
7. Messroghli, D. R., et al. (2021). T1 and T2 mapping in cardiovascular magnetic resonance: a comprehensive review of current clinical applications. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*, 22(5), e53-e69.
8. Padhani, A. R., et al. (2020). The METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer (MET-RADS-P): a guide to multiparametric whole-body MRI for prostate cancer. *European Urology*, 77(1), 81-91.
9. Jeukens, C. R., et al. (2022). Advanced Diffusion-Weighted Imaging for Prostate Cancer Characterization and Treatment Response. *Cancers*, 14(3), 743.

10. Sahoo, P., & Runge, V. M. (2022). Artificial Intelligence in MRI: A Review of the Current State and Future Directions. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 55(6), 1647-1663.

# **Inteligencia Artificial en Diagnóstico por Imágenes: De la Detección Automatizada al Análisis Predictivo**

**Autores:** *Andres Bolivar Chica Estrella*

*Médico Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*

*Médico Residente Omni Hospital*

## **Definición**

La Inteligencia Artificial (IA) en el Diagnóstico por Imágenes se refiere al uso de algoritmos computacionales, principalmente de aprendizaje automático (Machine Learning) y aprendizaje profundo (Deep Learning), para interpretar y extraer información clínicamente relevante de imágenes médicas (como radiografías, tomografías computarizadas, resonancias magnéticas y ecografías).

A diferencia de los programas informáticos tradicionales que siguen instrucciones explícitas, los algoritmos de IA "aprenden" a partir de grandes cantidades de datos de imágenes previamente anonimizadas y etiquetadas por expertos radiólogos. El objetivo no es reemplazar al especialista humano, sino potenciar sus capacidades a través de tres niveles principales de asistencia:

1. **Detección y Segmentación:** Identificación y delineado automático de hallazgos anormales (p. ej., un nódulo pulmonar, una hemorragia cerebral) o estructuras anatómicas.
2. **Caracterización y Cuantificación:** Medición objetiva y estandarizada de las características de una lesión (volumen, textura, forma) y su clasificación (p. ej., benigno vs. maligno).

3. **Análisis Predictivo (Radiómica):** Extracción de miles de características cuantitativas de las imágenes, imperceptibles para el ojo humano, para predecir resultados clínicos como la agresividad de un tumor, la respuesta a un tratamiento o el pronóstico del paciente.

## 2. Adopción y Panorama Regulatorio

El concepto de "epidemiología" se traduce en la tasa de adopción clínica y el estado regulatorio de las herramientas de IA en radiología.

- **A nivel global:** La adopción de la IA en los departamentos de radiología está en plena aceleración. En Estados Unidos, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) ha aprobado más de 500 dispositivos médicos habilitados por IA, la mayoría en el

campo de la radiología. En Europa, el mercado CE sigue un camino similar. Encuestas de la Sociedad Radiológica de Norteamérica (RSNA) muestran que, si bien en 2020 cerca del 30% de los centros utilizaban IA clínicamente, se proyecta que esta cifra supere el 70% para 2025, principalmente para aplicaciones en neurorradiología, imagen torácica y mamaria.

- **En Ecuador y Latinoamérica:** La adopción es incipiente pero creciente, concentrada en centros hospitalarios de alta complejidad y cadenas de diagnóstico privadas. Los principales desafíos son el costo de las soluciones comerciales, la integración con los sistemas existentes (PACS y RIS) y la falta de un marco regulatorio local específico. En Ecuador, la Agencia Nacional de Regulación, Control y

Vigilancia Sanitaria (ARCSA) es la entidad encargada de la regulación de dispositivos médicos. Si bien aún no existe una categoría específica para "Software como Dispositivo Médico" basado en IA, los productos que obtienen aprobaciones de entidades de alta vigilancia sanitaria como la FDA o la EMA (Agencia Europea de Medicamentos) tienen un camino más claro para su eventual implementación. La validación de estos algoritmos en la población local es un paso crucial y un área activa de investigación académica en la región.

### **3. Cómo Funciona la IA en Imágenes**

En lugar de una "fisiopatología", se deben entender los mecanismos computacionales que sustentan la IA en imágenes. El paradigma dominante es el Aprendizaje

Profundo (Deep Learning), utilizando Redes Neuronales Convolucionales (CNNs).

**El proceso funciona de la siguiente manera:**

1. **Entrenamiento:** Una CNN es expuesta a miles o millones de imágenes médicas previamente etiquetadas por radiólogos (p. ej., "esta tomografía contiene una hemorragia", "este es el contorno exacto del ventrículo izquierdo"). La red ajusta iterativamente sus parámetros internos para aprender a reconocer los patrones visuales asociados a cada etiqueta.
2. **Validación:** El modelo se prueba en un conjunto de datos diferente que no vio durante el entrenamiento para evaluar su rendimiento y evitar el sobreajuste (que solo funcione bien con los datos de entrenamiento).

3. **Inferencia (Uso Clínico):** Una vez validado, el algoritmo puede analizar una nueva imagen (de un paciente real) y generar una salida en segundos. Esta salida puede ser:

- **Clasificación:** Asigna una etiqueta a la imagen (p. ej., "Mamografía normal" vs. "Sospechosa de malignidad").
- **Detección:** Dibuja un cuadro delimitador alrededor de un hallazgo de interés (p. ej., "Nódulo pulmonar detectado en lóbulo superior derecho").
- **Segmentación:** Delinea con precisión el contorno de un órgano o una lesión, permitiendo mediciones de volumen exactas.

La principal ventaja de las CNNs es que aprenden las características relevantes por sí mismas directamente de

los píxeles de la imagen, superando a los métodos de machine learning tradicionales que requerían una extracción manual de características por parte de expertos.

#### **4. Aplicaciones Clínicas: Del Soporte a la Predicción**

Las aplicaciones de la IA ya son una realidad en el flujo de trabajo diagnóstico diario, transformando la forma en que se detectan y evalúan las patologías.

#### **Detección Automatizada y Triage**

- **Neurorradiología:** Algoritmos de IA analizan tomografías de cráneo sin contraste para detectar de forma instantánea **hemorragias intracraneales** o **oclusiones de grandes vasos** en pacientes con sospecha de ictus. El sistema puede priorizar automáticamente estos estudios en la lista de trabajo del radiólogo, reduciendo

drásticamente el tiempo hasta el diagnóstico en emergencias críticas.

- **Radiología Torácica:** Herramientas que detectan y miden **nódulos pulmonares** en tomografías de tórax, ayudando en el cribado de cáncer de pulmón. Otros algoritmos pueden identificar signos de **neumotórax** o **embolia pulmonar**.
- **Mamografía:** Sistemas de Detección Asistida por Ordenador (CAD) basados en IA que marcan áreas sospechosas de **microcalcificaciones** o **masas**, actuando como un segundo lector para reducir los falsos negativos.

### **Cuantificación Objetiva**

- **Cardiología:** Segmentación automática de las cavidades cardíacas en resonancia magnética o ecocardiografía para calcular de forma rápida, precisa y reproducible la **fracción de eyección**

**ventricular**, un indicador clave de la función cardíaca.

- **Neuroimagen:** Cálculo automático del volumen de lesiones desmielinizantes en pacientes con **esclerosis múltiple** para monitorizar la progresión de la enfermedad de manera objetiva.

### **Análisis Predictivo y Radiómica**

Esta es la frontera más avanzada, donde la IA extrae datos para predecir el futuro clínico.

- **Oncología:** A partir de una tomografía o resonancia magnética de un tumor, la radiómica puede predecir el subtipo molecular del mismo (p. ej., en gliomas cerebrales o cáncer de pulmón), información que tradicionalmente requiere una biopsia invasiva.

- **Pronóstico:** Puede predecir la probabilidad de respuesta a la inmunoterapia en pacientes con melanoma o cáncer de pulmón, ayudando a seleccionar a los candidatos más adecuados para estos costosos tratamientos.
- **Planificación Quirúrgica:** La segmentación 3D precisa de tumores y estructuras vasculares adyacentes ayuda a los cirujanos a planificar la resección con mayor seguridad.

## 5. Impacto en el Tratamiento y Pronóstico

El rol de la IA se extiende más allá del diagnóstico, influyendo directamente en las decisiones terapéuticas y en la estratificación del riesgo del paciente.

- **Medicina de Precisión:** Al predecir la biología de un tumor a partir de imágenes, la IA contribuye a la selección de terapias dirigidas sin

necesidad de esperar los resultados de patología molecular, personalizando el tratamiento desde una fase más temprana.

- **Planificación de Radioterapia:** La segmentación automática de tumores (GTV) y órganos en riesgo (OAR) reduce significativamente el tiempo de planificación y la variabilidad interobservador, permitiendo la creación de planes de irradiación más precisos y seguros.
- **Biomarcadores de Imagen:** La IA establece nuevos biomarcadores pronósticos. Por ejemplo, la "firma radiómica" de un tumor hepático en una RM puede predecir el riesgo de recurrencia post-tratamiento con mayor precisión que los factores clínicos tradicionales.

## Recomendaciones

1. **Para Radiólogos y Profesionales de la Salud:** Es crucial adoptar una postura de colaboración informada. Deben entender los principios básicos de la IA, conocer las fortalezas y debilidades de los algoritmos que utilizan y mantener siempre la supervisión y responsabilidad final sobre el diagnóstico. La IA es una herramienta para aumentar la capacidad humana, no para reemplazarla.
2. **Para Instituciones de Salud:** La implementación debe ser estratégica. Se debe comenzar con soluciones que aborden necesidades clínicas claras y demostrables (p. ej., triaje de ictus). Es fundamental garantizar la ciberseguridad, la protección de datos del paciente y una

integración fluida con los flujos de trabajo existentes.

**3. Para Entidades Reguladoras y Desarrolladores:**

Se debe exigir y promover la transparencia de los algoritmos ("IA explicable"), la validación en poblaciones diversas (incluyendo datos de Latinoamérica) para evitar sesgos, y el monitoreo continuo del rendimiento del software una vez implementado en el entorno clínico real.

## **7. Bibliografía**

1. Langlotz, C. P., Allen, B., Erickson, B. J., et al. (2021). A Roadmap for Foundational Research on Artificial Intelligence in Medical Imaging: The Report of the 2021 NIBIB and RSNA Expert Panel. *Radiology*, 301(3), E436–E449.
2. Topol, E. J. (2023). The AI revolution in medicine. *The Lancet*, 401(10383), 1151-1152.

3. Erickson, B. J., Korfiatis, P., Akkus, Z., & Kline, T. L. (2022). Machine learning for medical imaging. *Radiographics*, 42(4), 1137-1152.
4. Kaul, V., Enslin, S., & Gross, S. A. (2020). History of artificial intelligence in medicine. *Gastrointestinal Endoscopy*, 92(4), 807-812.
5. Davenport, T., & Kalakota, R. (2021). The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthcare Journal*, 8(2), e207-e212.
5. van Leeuwen, K. G., Schalekamp, S., Rutten, M. J., et al. (2021). Artificial intelligence in radiology: 100 commercially available products and their scientific evidence. *European Radiology*, 31(6), 3797-3804.
6. Bi, W. L., Hosny, A., Schabath, M. B., et al. (2021). Artificial intelligence in cancer imaging: clinical challenges and applications. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 71(2), 159-183.

7. Allen, B., et al. (2022). The FDA-Cleared AI Revolution: A Snapshot of the Current US Clinical Landscape. *Journal of the American College of Radiology*, 19(1), 107-115.
8. Rogers, W., & Lange, M. M. (2023). Explainable AI (XAI) in medical imaging: A systematic review. *Medical Image Analysis*, 85, 102737.
9. Parekh, M., & Jacobs, M. A. (2021). Radiomics: a new application from medical imaging. *Expert Review of Precision Medicine and Drug Development*, 6(5), 375-388.

# **Imagenología Molecular: PET/CT y PET/MR en la Evaluación de Enfermedades Metabólicas y Neoplásicas**

**Autores:** *Adriana Michelle Núñez López*

*Médica Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*

*Médico General en Consultorio Privado.*

*Coordinador Médico en Best Doctors*

## **Definición**

La Imagenología Molecular es una rama avanzada del diagnóstico por imágenes que permite visualizar, caracterizar y cuantificar procesos biológicos a nivel celular y molecular dentro de los seres vivos. A diferencia de la imagenología anatómica tradicional (TC, RM convencional), que muestra la estructura de los

órganos, la imagenología molecular revela su función y metabolismo.

Las técnicas más representativas de este campo son la Tomografía por Emisión de Positrones/Tomografía Computarizada (PET/CT) y la Tomografía por Emisión de Positrones/Resonancia Magnética (PET/MR).

- **PET/CT:** Es una modalidad de imagen híbrida que fusiona en un solo estudio las imágenes funcionales de la PET con las imágenes anatómicas de alta resolución de la TC. La PET detecta la distribución de un radiofármaco en el cuerpo, mientras que la TC proporciona el mapa anatómico preciso para localizar los hallazgos metabólicos.
- **PET/MR:** Es una tecnología más reciente que integra la PET con la Resonancia Magnética. Combina la información metabólica de la PET

con el excepcional contraste de tejidos blandos y las capacidades funcionales avanzadas de la RM (como difusión, perfusión, etc.), todo ello con una menor exposición a la radiación ionizante en comparación con el PET/CT.

El componente clave de estas técnicas es el radiofármaco, una molécula biológicamente activa (como la glucosa) unida a un isótopo emisor de positrones (como el Flúor-18). El radiofármaco más utilizado a nivel mundial es la  $^{18}\text{F}$ -Fluorodesoxiglucosa ( $^{18}\text{F}$ -FDG), un análogo de la glucosa.

### **Disponibilidad y Uso Clínico**

La "epidemiología" de esta tecnología se refiere a su disponibilidad y a la frecuencia de su uso clínico.

- **A nivel mundial:** El PET/CT es una tecnología madura y ampliamente distribuida. Países de

Norteamérica, Europa y Asia cuentan con una extensa red de estos equipos. Se estima que se realizan millones de estudios PET/CT anualmente, siendo la oncología la indicación en más del 90% de los casos. En contraste, el **PET/MR** es una tecnología de vanguardia, significativamente más costosa y compleja. Su disponibilidad se limita principalmente a grandes centros médicos académicos y de investigación.

- **En Ecuador:** La tecnología PET/CT está disponible en el país desde hace varios años y su uso está bien establecido. Centros especializados, como los de la Sociedad de Lucha contra el Cáncer (SOLCA) en las principales ciudades (Quito, Guayaquil, Cuenca), y otros centros privados, ofrecen este servicio. La demanda está impulsada principalmente por la

necesidad de estadificación y seguimiento de pacientes oncológicos. La disponibilidad de PET/MR en Ecuador es, hasta la fecha (2025), extremadamente limitada o inexistente en la práctica clínica rutinaria, reflejando la tendencia mundial de ser una herramienta de nicho y de investigación avanzada.

### **Principios Biológicos y Físicos**

El fundamento de la PET se basa en un principio biológico clave y en un proceso físico detectable.

- **Principio Biológico (El Efecto Warburg):** La utilidad del  $^{18}\text{F}$ -FDG en oncología se explica por el efecto Warburg. En la década de 1920, Otto Warburg observó que las células cancerosas tienen un metabolismo de la glucosa marcadamente elevado y anómalo, incluso en

presencia de oxígeno (glicólisis aeróbica). Consumen glucosa a una tasa mucho mayor que las células sanas. Al inyectar  $^{18}\text{F}$ -FDG, este análogo es captado ávidamente por las células tumorales, pero a diferencia de la glucosa normal, queda atrapado dentro de ellas. Esta acumulación de radioactividad es lo que permite "iluminar" los tumores en una imagen PET.

- **Principio Físico (Aniquilación de Positrones):**  
El isótopo ( $^{18}\text{F}$ ) emite positrones (partículas con carga positiva). Cada positrón viaja una corta distancia en el tejido y colisiona con un electrón (carga negativa). Esta colisión, llamada aniquilación, convierte la masa de ambas partículas en energía pura, liberando dos fotones gamma de 511 keV que viajan en direcciones exactamente opuestas ( $180^\circ$ ). El escáner PET tiene un anillo de detectores que registra estos

pares de fotones que llegan en "coincidencia". Millones de estos eventos son procesados por un ordenador para reconstruir una imagen tridimensional que muestra dónde se acumuló el radiofármaco.

Además del  $^{18}\text{F}$ -FDG, existen otros radiofármacos para aplicaciones específicas, como el PSMA (Antígeno de Membrana Específico de la Próstata) para el cáncer de próstata y los análogos de la somatostatina (como el  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATATE) para tumores neuroendocrinos.

### **Aplicaciones Clínicas Clave**

Las indicaciones para PET/CT y PET/MR son amplias, pero se destacan en oncología, neurología y cardiología.

### **Enfermedades Neoplásicas**

El PET/CT ha revolucionado el manejo del cáncer.

- **Diagnóstico y Estadificación Inicial:** Determina con alta precisión la extensión de la enfermedad en cánceres como linfoma, melanoma, cáncer de pulmón, colorrectal, cabeza y cuello, y esófago. Un solo estudio de cuerpo entero puede identificar metástasis a distancia que cambiarían radicalmente el plan de tratamiento.
- **Evaluación de la Respuesta al Tratamiento:** Permite una valoración metabólica de la respuesta a la quimioterapia o radioterapia. La disminución o desaparición de la captación de FDG (evaluada mediante criterios como PERCIST) a menudo precede a los cambios de tamaño del tumor, permitiendo una evaluación temprana de la eficacia del tratamiento.
- **Detección de Recurrencia:** Es la técnica más sensible para detectar la reaparición del cáncer, especialmente cuando los marcadores tumorales

en sangre se elevan, pero las imágenes convencionales son negativas.

- **Guía para Biopsias y Planificación de Radioterapia:** Ayuda a dirigir la aguja de biopsia a la zona más agresiva (metabólicamente activa) de un tumor heterogéneo. En radioterapia, permite delinear el "volumen biológico tumoral" para irradiar el tejido maligno con mayor precisión y proteger el tejido sano.

### **Enfermedades Metabólicas y otras**

- **Neurología:** El PET/CT (o preferiblemente PET/MR) con  $^{18}\text{F}$ -FDG es fundamental en el diagnóstico diferencial de las demencias. La enfermedad de Alzheimer muestra un patrón característico de hipometabolismo en las regiones temporo-parietales, mientras que la demencia frontotemporal muestra

hipometabolismo en los lóbulos frontales. También se utiliza para localizar focos epileptogénicos en pacientes con epilepsia refractaria candidatos a cirugía.

- **Cardiología:** Evalúa la **viabilidad miocárdica**. En pacientes con enfermedad coronaria severa, ayuda a distinguir entre tejido cardíaco necrótico (cicatricial) y tejido viable pero hibernado, que podría beneficiarse de una revascularización (bypass o angioplastia).
- **Enfermedades Inflamatorias e Infecciosas:** Es una herramienta valiosa para localizar focos de infección oculta en casos de fiebre de origen desconocido o para evaluar la extensión y actividad de vasculitis de grandes vasos.

### **Impacto en el Tratamiento y Pronóstico**

Los hallazgos de la imagenología molecular tienen un impacto directo y profundo en el manejo del paciente.

- **Cambio en el Manejo Clínico:** Se estima que los resultados del PET/CT modifican el plan terapéutico en aproximadamente un 30-40% de los pacientes oncológicos. Esto puede implicar cambiar de un tratamiento con intención curativa a uno paliativo (al detectar metástasis no esperadas) o viceversa, o modificar el campo de radioterapia.
- **Valor Pronóstico:** La intensidad de la captación de FDG, medida cuantitativamente por el Valor de Captación Estandarizado (SUVmax), es un potente biomarcador pronóstico. Un SUVmax elevado antes del tratamiento o una respuesta metabólica incompleta después del mismo se

asocian con un peor pronóstico en numerosos tipos de cáncer.

## **Recomendaciones**

1. **Para Médicos Referentes:** Considerar PET/CT para la estadificación y re-estadificación de tumores con avidéz por la FDG. Comunicar claramente la pregunta clínica al especialista en medicina nuclear/radiología para asegurar que se utilice el protocolo y, si estuviera disponible, el radiofármaco más adecuado.
2. **Para Pacientes:** Es crucial seguir las instrucciones de preparación para el estudio, principalmente el **ayuno de 6 horas** y una dieta baja en carbohidratos el día anterior, para

garantizar la calidad de la imagen y la precisión del diagnóstico.

3. **Para el Sistema de Salud:** Reconocer el valor costo-efectividad de la imagenología molecular. Aunque el costo inicial es alto, puede evitar procedimientos innecesarios y dirigir a los pacientes a las terapias más efectivas, generando ahorros a largo plazo y mejorando los resultados clínicos.

## **Bibliografía**

1. Hacker, M., & Schwaiger, M. (2022). PET/MR: a paradigm shift in hybrid imaging. *The Journal of Nuclear Medicine*, 63(1), 1-2.
2. Subesinghe, M., et al. (2021). The role of PET/CT in lymphoma. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 48(1), 43-57.

3. Priya, S., et al. (2021).  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT in the evaluation of fever of unknown origin: a review of the literature. *The American Journal of Medicine*, 134(3), 342-349.
4. Hofman, M. S., et al. (2021). [ $^{177}\text{Lu}$ ]Lu-PSMA-617 versus cabazitaxel in patients with metastatic castration-resistant prostate cancer (TheraP): a randomised, open-label, phase 2 trial. *The Lancet*, 397(10276), 797-804.
5. Lopci, E., et al. (2022). The evolving role of PET/CT and PET/MR in neuroendocrine neoplasms. *Journal of Nuclear Medicine*, 63(Supplement 1), 29S-36S.
6. Bar-Shalom, R., & Guralnik, L. (2021). PERCIST 1.0: an update. *Journal of Nuclear Medicine*, 62(5), 589-590.
7. Bluemke, D. A., & Schwaiger, M. (2023). Cardiovascular PET/MR: current state and future

- directions. *Journal of the American College of Cardiology: Cardiovascular Imaging*, 16(1), 96-110.
8. Drzezga, A. (2022). Amyloid and Tau Imaging in Dementia. *Seminars in Nuclear Medicine*, 52(1), 31-43.
  9. Catalano, O. A., et al. (2020). Clinical impact of PET/MR imaging in patients with cancer: a systematic review and meta-analysis. *Radiology*, 294(3), 565-576.
  10. Townsend, D. W. (2023). PET/CT: The story so far. *The British Journal of Radiology*, 96(1141), 20220718.

# **Ultrasonido de Alta Resolución y Elastografía: Aplicaciones Emergentes en Patología Musculoesquelética y Hepática**

**Autora:** *Mary Judy Moya Sellán*

*Médica Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*

*Médico General (Prestación de Servicios Médicos Particulares)*

## **Definición**

El diagnóstico por imágenes ha experimentado una notable evolución con el desarrollo de técnicas de ultrasonido avanzadas. Dos de las más impactantes son el Ultrasonido de Alta Resolución y la Elastografía.

- **Ultrasonido de Alta Resolución (US-AR):** Se define como la aplicación de transductores de ultrasonido de alta frecuencia (generalmente por

encima de 12-15 MHz) para obtener imágenes con una resolución espacial excepcional de estructuras superficiales. Esta capacidad, cercana a la resolución microscópica, permite una visualización detallada del patrón fibrilar de los tendones, la arquitectura fascicular de los nervios periféricos, y las capas de la piel, superando en detalle a otras modalidades de imagen para estas aplicaciones.

- **Elastografía por Ultrasonido:** Es una técnica no invasiva que mide la rigidez o elasticidad de los tejidos. Funciona como una "palpación virtual", cuantificando las propiedades mecánicas tisulares. Un tejido más rígido suele ser indicativo de un proceso patológico como fibrosis o malignidad. Las dos modalidades principales son:

1. **Elastografía de Transición (p.ej., FibroScan®):** Utiliza un pulso mecánico externo para generar una onda de cizallamiento (o de corte) y mide su velocidad para determinar la rigidez del tejido, principalmente del hígado.
2. **Elastografía por Ondas de Corte (Shear Wave Elastography - SWE):** Integrada en ecógrafos convencionales, utiliza un pulso de radiación acústica (ARFI) para generar ondas de corte internamente y mapea su velocidad en tiempo real, proporcionando una medición cuantitativa (en kilopascales [kPa] o metros/segundo [m/s]) y un mapa a color de la rigidez del tejido.

## Relevancia Clínica y Disponibilidad

La importancia de estas tecnologías radica en su capacidad para abordar patologías de alta prevalencia.

- **En Patología Hepática:** La enfermedad hepática crónica es un problema de salud pública mundial. Según la OMS/OPS, las enfermedades del hígado son una causa importante de morbilidad y mortalidad en las Américas. La **Enfermedad del Hígado Graso No Alcohólico (NAFLD)**, ahora denominada MASLD (Metabolic Dysfunction-Associated Steatotic Liver Disease), afecta a cerca del 30% de la población mundial y es la principal causa de enfermedad hepática crónica. En Ecuador, aunque las estadísticas nacionales son limitadas, la alta prevalencia de factores de riesgo como la obesidad y la diabetes tipo 2 sugiere una carga significativa de MASLD.

La elastografía hepática ha surgido como una herramienta fundamental para la evaluación no invasiva de la fibrosis, etapa clave en la progresión de estas enfermedades.

- **En Patología Musculoesquelética (MSK):** Las lesiones deportivas, las tendinopatías por sobreuso y las enfermedades reumáticas como la artritis reumatoide afectan a un vasto segmento de la población. El US-AR es a menudo la primera línea de imagen para estas condiciones debido a su accesibilidad y capacidad de evaluación dinámica.
- **Disponibilidad en Ecuador:** El **US-AR** está ampliamente disponible en todo el país. Sin embargo, la **elastografía**, aunque cada vez más común, se concentra en centros de especialidad. La elastografía de transición (FibroScan®) está bien establecida en unidades de hepatología en

ciudades como Quito, Guayaquil y Cuenca. La elastografía por ondas de corte (SWE), al estar integrada en ecógrafos de gama alta, está cada vez más presente en centros radiológicos y hospitalarios de referencia, ampliando su aplicación más allá del hígado al sistema musculoesquelético, mama y tiroides.

### **Principios Físicos y Bases Fisiopatológicas**

El funcionamiento de estas técnicas se basa en principios físicos que se correlacionan directamente con cambios patológicos en los tejidos.

- **Base Física del US-AR:** La resolución de una imagen de ultrasonido es inversamente proporcional a la longitud de onda. Al usar transductores de alta frecuencia, se generan ondas de sonido con una longitud de onda muy

corta. Esto permite una excelente resolución axial (la capacidad de distinguir dos puntos cercanos a lo largo del eje del haz de ultrasonido), posibilitando la visualización de estructuras submilimétricas. La contrapartida es una menor profundidad de penetración, limitando su uso a estructuras superficiales.

- **Base Fisiopatológica de la Elastografía:** El principio fundamental es que la progresión de muchas enfermedades altera la rigidez de los tejidos.
  - **En el Hígado:** La fisiopatología de la enfermedad hepática crónica (viral, alcohólica o metabólica) culmina en la **fibrosis**, que es la deposición excesiva de matriz extracelular (principalmente

colágeno) en respuesta a la lesión hepatocelular. Este tejido cicatricial es mucho más rígido que el parénquima hepático normal. La elastografía mide la velocidad de las ondas de corte, que viajan más rápido a través de medios más rígidos. Por lo tanto, una mayor velocidad (y un valor más alto en kPa) se correlaciona directamente con un grado más avanzado de fibrosis (p.ej., cirrosis).

- **En Patología MSK:** Un tendón afectado por tendinitis puede volverse más blando (edema y desorganización de las fibras) o más rígido (calcificaciones). Un **tumor maligno** es típicamente más rígido que el tejido circundante debido a la alta celularidad y la desmoplasia. Un músculo

con una **lesión cicatricial** será más rígido que el tejido muscular sano.

#### **4. Aplicaciones Clínicas**

##### **Aplicaciones en Patología Hepática**

La elastografía ha transformado el manejo de la enfermedad hepática crónica.

- **Estadificación no invasiva de la Fibrosis:** Es la aplicación principal. Permite clasificar la fibrosis hepática en una escala que se correlaciona bien con el estándar histológico (sistema Metavir), ayudando a diferenciar entre fibrosis leve (F1), significativa (F2), avanzada (F3) y cirrosis (F4).
- **Detección de Hipertensión Portal:** Una rigidez hepática elevada (generalmente  $>20-25$  kPa) es un predictor robusto de la presencia de hipertensión portal clínicamente significativa, guiando la

necesidad de una endoscopia para buscar várices esofágicas.

- **Monitorización de la Enfermedad:** Permite el seguimiento longitudinal de los pacientes, evaluando la progresión de la fibrosis o, de manera crucial, su regresión en respuesta a tratamientos efectivos (p.ej., antivirales para la hepatitis C).
- **Screening en Poblaciones de Riesgo:** Es una herramienta de tamizaje ideal en pacientes con factores de riesgo para NAFLD/MASLD.

### **Aplicaciones en Patología Musculoesquelética**

- **US-AR:**
  - **Tendones y Ligamentos:** Evaluación exquisita de tendinopatías, roturas parciales o completas (p.ej., manguito

rotador, tendón de Aquiles) y esguinces ligamentosos.

- **Nervios Periféricos:** Diagnóstico de síndromes de atrapamiento nervioso, como el **síndrome del túnel carpiano**, donde se puede visualizar el nervio mediano engrosado y evaluar su compresión.
- **Artritis:** Detección de sinovitis, erosiones óseas y derrame articular en enfermedades como la artritis reumatoide, con una sensibilidad superior a la radiografía.
- **Elastografía en MSK:**
  - **Tendinopatías:** Cuantificación de los cambios en la rigidez del tendón, lo que puede ayudar a guiar la terapia física y monitorizar la respuesta al tratamiento.

- **Lesiones Musculares:** Diferenciación entre un hematoma (blanda), una rotura aguda (blanda) y una fibrosis cicatricial (rígida).
- **Masas de Tejidos Blandos:** Ayuda en la caracterización de tumores. Aunque no reemplaza a la biopsia, una lesión muy rígida aumenta la sospecha de malignidad.

### **Rol en el Algoritmo Diagnóstico: Ventajas y Limitaciones**

- **Frente a la Biopsia Hepática:** La elastografía ha reducido drásticamente la necesidad de biopsias hepáticas, que son invasivas, costosas, y conllevan riesgos de dolor, sangrado y, raramente, muerte. Además, la biopsia es susceptible a error de muestreo (analiza 1/50,000

del órgano), mientras que la elastografía evalúa un volumen de tejido 100 veces mayor. Sin embargo, no la reemplaza para determinar la etiología de la enfermedad o evaluar la actividad inflamatoria.

- **Frente a la RM en MSK:** El US-AR ofrece ventajas clave como la evaluación **dinámica** (se le pide al paciente que mueva la articulación durante el escaneo), mayor resolución espacial para estructuras muy superficiales, ausencia de radiación, menor costo y la capacidad de guiar procedimientos de intervención en tiempo real.
- **Limitaciones:** La elastografía hepática puede verse afectada por factores distintos a la fibrosis, como la inflamación aguda (hepatitis), la colestasis, la congestión por insuficiencia cardíaca y la obesidad mórbida o ascitis, que pueden dificultar la obtención de una medición

fiable. En MSK, la principal limitación es la dependencia del operador.

## **Impacto en las Decisiones de Tratamiento y Pronóstico**

- **En Hepatología:** El grado de fibrosis medido por elastografía es un factor decisivo para iniciar tratamientos antivirales, enlistar a pacientes en ensayos clínicos, y comenzar el cribado de hepatocarcinoma y várices esofágicas en pacientes con fibrosis avanzada o cirrosis. Un valor elevado de rigidez hepática es un predictor independiente de descompensación hepática y mortalidad.
- **En MSK:** El US-AR es la modalidad de elección para guiar **procedimientos intervencionistas** con alta precisión, como infiltraciones de corticosteroides, aspiración de quistes, o

tenotomías percutáneas. La elastografía puede ayudar a monitorizar objetivamente la curación de un tendón o músculo.

## **Recomendaciones**

1. **Para Clínicos (Hepatología):** Utilizar la elastografía como la herramienta de primera línea para la evaluación de la fibrosis en pacientes con enfermedad hepática crónica. Considerar los posibles factores de confusión al interpretar los resultados.
2. **Para Clínicos (MSK):** Considerar el US-AR como la modalidad de imagen inicial para la mayoría de las patologías de tejidos blandos superficiales, aprovechando su capacidad de evaluación dinámica.
3. **Para Radiólogos y Operadores:** Es fundamental una formación rigurosa y el seguimiento de

protocolos estandarizados, especialmente en elastografía, para asegurar mediciones precisas y reproducibles. Reportar siempre los parámetros de calidad de la medición elastográfica.

## **Bibliografía**

1. Dietrich, C. F., et al. (2021). EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Use of Liver Ultrasound Elastography, Update 2021 (Long Version). *Ultraschall in der Medizin - European Journal of Ultrasound*, 42(02), 154-188.
2. Guerri, V., et al. (2022). High-Resolution Ultrasound of the Peripheral Nerves. *Diagnostics*, 12(3), 668.
3. Ferraioli, G., & Berzigotti, A. (2021). The clinical use of liver and spleen elastography for the screening of cirrhosis and portal hypertension in

- routine practice. *Journal of Hepatology*, 75(4), 963-973.
4. Taljanovic, M. S., et al. (2020). Ultrasound Elastography in Musculoskeletal Imaging: State of the Art, Current and Future Applications. *Radiology*, 295(3), 503-518.
  5. Rinella, M. E., et al. (2023). A multi-society Delphi consensus statement on new fatty liver disease nomenclature. *Hepatology*, 78(6), 1966-1986.
  6. Gitto, S., et al. (2022). Musculoskeletal ultrasound shear wave elastography: a systematic review of the literature. *Journal of Ultrasound*, 25(3), 425-437.
  7. European Association for the Study of the Liver. (2021). EASL Clinical Practice Guidelines on non-invasive tests for evaluation of liver disease severity and prognosis. *Journal of Hepatology*, 75(3), 659-689.

8. Lee, S. U., et al. (2023). High-Resolution Ultrasonography of the Hand and Wrist: A "How-To" Guide. *Korean Journal of Radiology*, 24(1), 1-15.
9. O'Hara, S. M. (2022). Ultrasound of the rotator cuff: a practical guide to performing the examination and interpreting the findings. *Skeletal Radiology*, 51(2), 235-253.
10. Sudo, H., et al. (2021). The clinical application of shear wave elastography in the musculoskeletal system. *Journal of Medical Ultrasonics*, 48(2), 135-143.

## **Descargo de Responsabilidad y Términos de Publicación**

La presente publicación ha sido concebida como una fuente de consulta y referencia académica. La información contenida en sus capítulos no reemplaza, bajo ninguna circunstancia, la evaluación y el manejo clínico por parte de un profesional médico certificado. La aplicación de cualquier conocimiento aquí expuesto es responsabilidad última del lector.

Velseris Editores actúa únicamente como casa editorial; por tanto, el rigor científico, las posturas y las conclusiones vertidas en cada artículo son de exclusiva incumbencia de los autores firmantes.

**ISBN: 978-9942-7402-4-3**

Una producción de Velseris Editores Mayo 2025 Quito,  
Ecuador [www.velseris.com](http://www.velseris.com)

Esta obra está protegida por la legislación ecuatoriana sobre derechos de autor y propiedad intelectual, así como por los tratados internacionales aplicables. No se permite su reproducción, almacenamiento en sistemas recuperables de información, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otro sin el permiso previo y por escrito de los titulares de los derechos.